

薄膜磁気ヘッドの製造方法

発明の背景

1. 発明の技術分野

本発明は、少なくとも誘導型電磁変換素子を有する薄膜磁気ヘッドの製造方法に関する。

2. 関連技術の説明

近年、ハードディスク装置の面記録密度が著しく向上している。特に最近では、ハードディスク装置の面記録密度は、80～100ギガバイト／プラッタに達し、更にそれを超える勢いである。これに伴って、薄膜磁気ヘッドの性能向上が求められている。

薄膜磁気ヘッドとしては、書き込み用の誘導型電磁変換素子を有する記録ヘッドと読み出し用の磁気抵抗効果素子（以下、MR（Magnetoresistive）素子とも記す。）を有する再生ヘッドとを積層した構造の複合型薄膜磁気ヘッドが広く用いられている。

記録ヘッドは、一般的に、記録媒体に対向する媒体対向面（エアベアリング面）と、媒体対向面側において互いに対向する磁極部分を含むと共に、互いに磁氣的に連結された下部磁極層および上部磁極層と、下部磁極層の磁極部分と上部磁極層の磁極部分との間に設けられた記録ギャップ層と、少なくとも一部が下部磁極層および上部磁極層の間に、これらに対して絶縁された状態で設けられた薄膜コイルとを備えている。

ところで、記録ヘッドの性能のうち、記録密度を高めるには、記録媒体におけるトラック密度を上げる必要がある。そのためには、トラック幅、すなわち記録ギャップ層を挟んで対向する2つの磁極部分の媒体対向面での幅を、数ミクロンからサブミクロン寸法まで小さくした狭トラック構造の記録ヘッドを実現する必要がある。このような記録ヘッドを実現するために半導体加工技術が利用されている。また、記録ヘッドでは、媒体対向面において磁極部分より発生される磁束の広がりによる実効的なトラック幅の増加を防止するために、トリム構造が採用される場合が多い。トリム構造とは、上部磁極層の磁極部分をマスクとして記録

ギャップ層および下部磁極層の一部をエッチングすることによって、上部磁極層の磁極部分、記録ギャップ層および下部磁極層の一部の媒体対向面における幅が揃えられた構造を言う。

記録ヘッドに求められる性能の一つには、重ね書きの性能であるオーバーライト特性が優れていることが挙げられる。このオーバーライト特性を向上させるには、2つの磁極層を通過する磁束を、できるだけ多く磁極部分に導き、媒体対向面において記録ギャップ層の近傍で大きな磁界を発生させることが必要である。従って、オーバーライト特性を向上させるには、磁極部分の磁性材料として飽和磁束密度の大きな材料を使用したり、スロートハイトを小さくすることが有効である。スロートハイトとは、2つの磁極層が記録ギャップ層を介して対向する部分、すなわち磁極部分の、媒体対向面側の端部から反対側の端部までの長さ（高さ）をいう。また、2つの磁極層が記録ギャップ層を介して対向する部分の、媒体対向面とは反対側の端部の位置をスロートハイトゼロ位置と言う。また、オーバーライト特性を向上させるには、スロートハイトゼロ位置よりも媒体対向面から離れた領域における2つの磁極層間の距離を大きくすることも有効である。

ところが、オーバーライト特性を向上させるために、磁極部分に多くの磁束を導くと、媒体対向面において、記録ギャップ層の近傍以外の部分から磁束が漏れ、この漏れ磁束によって、目的とするトラックに隣接するトラックに情報が書き込まれるサイドライトや、目的とするトラックに隣接するトラックにおいて情報が消去されるサイドイレースが起こるという問題が発生する。このサイドライトやサイドイレースの発生を抑えるには、トリム構造における下部磁極層の段差、すなわち、媒体対向面に露出する下部磁極層の端面における記録ギャップ層に接する部分とその両側の部分との段差を大きくすることが有効である。

ところで、スロートハイトは、下部磁極層または上部磁極層に段差部を形成することによって決定することができる。下部磁極層に段差部を形成することによってスロートハイトを決定する方法は、例えば米国特許第6, 259, 583 B 1号明細書、米国特許第6, 400, 525 B 1号明細書および米国特許第5, 793, 578号明細書に記載されている。また、上部磁極層に段差部を形成することによってスロートハイトを決定する方法は、例えば米国特許第6, 043

、 9 5 9 号明細書または米国特許第 6, 5 6 0, 0 6 8 B 1 号明細書に記載されている。

下部磁極層に段差部を形成することによってスロートハイトを決定する場合には、以下のような問題点がある。オーバーライト特性を向上させるには、スロートハイトを小さくすると共に、スロートハイトを決定する下部磁極層における段差を大きくするのがよい。また、サイドライトやサイドイレーズの発生を抑えるには、トリム構造における下部磁極層の段差を大きくするのがよい。しかし、そうすると、下部磁極層のうち、トリム構造を形成する両側部に挟まれた部分の体積が極端に小さくなると共に、この部分と下部磁極層の他の部分との境界の近傍部分において磁路の断面積が急激に減少する。そのため、この境界近傍部分で磁束が飽和してオーバーライト特性が悪化する。しかも、媒体対向面に露出する下部磁極層の端面の幅は、トリム構造における段差部の底部の位置で急激に変化する。そのため、トリム構造における段差部の底部の近傍部分から記録媒体側へ磁束が漏れ、サイドライトやサイドイレーズが発生する。

一方、上部磁極層に段差部を形成することによってスロートハイトを決定する場合には、以下のような問題点がある。従来、上部磁極層におけるスロートハイトを決定する段差部は、以下のようにして形成されていた。すなわち、まず、記録ギャップ層の上に、スロートハイトを決定する磁極部分層を形成する。次に、この磁極部分層および記録ギャップ層を覆うように、絶縁層を形成する。次に、磁極部分層の上面が露出するまで、絶縁層を研磨する。この方法では、磁極部分層の厚みが、上記研磨の際の研磨量によって変動する。そのため、この方法では、ヘッドの記録特性を正確に制御することが難しいという問題点がある。

発明の目的および概要

本発明の目的は、サイドライトやサイドイレーズの発生を抑えながら、薄膜磁気ヘッドのオーバーライト特性を向上させることができ、且つ、容易に薄膜磁気ヘッドの記録特性を正確に制御できるようにした薄膜磁気ヘッドの製造方法を提供することにある。

本発明の薄膜磁気ヘッドの製造方法によって製造される薄膜磁気ヘッドは、記

録媒体に対向する媒体対向面と、媒体対向面側において互いに対向する磁極部分を含むと共に、互いに磁氣的に連結された第1および第2の磁極層と、第1の磁極層の磁極部分と第2の磁極層の磁極部分との間に設けられたギャップ層と、少なくとも一部が第1および第2の磁極層の間に、第1および第2の磁極層に対して絶縁された状態で設けられた薄膜コイルとを備えている。第2の磁極層は、ギャップ層に隣接するように配置され、スロートハイトを規定する端部を含むスロートハイト規定層と、スロートハイト規定層におけるギャップ層とは反対側に配置され、トラック幅を規定するトラック幅規定部を含むトラック幅規定層とを有している。スロートハイト規定層の幅およびトラック幅規定部の幅はいずれもトラック幅に等しい。

本発明の薄膜磁気ヘッドを製造する方法は、

第1の磁極層を形成する工程と、

第1の磁極層の上に薄膜コイルを形成する工程と、

第1の磁極層の磁極部分の上にギャップ層を形成する工程と、

ギャップ層の上に、スロートハイト規定層を形成するための磁性層を形成する工程と、

磁性層の上に、磁性層にスロートハイトを規定する端部を形成するためのマスクを形成する工程と、

マスクを用いて磁性層を選択的にエッチングすることによって、磁性層にスロートハイトを規定する端部を形成する工程と、

マスクを残したまま、磁性層においてエッチングされた部分を埋めるように非磁性層を形成する工程と、

非磁性層の形成後に、マスクを除去する工程と、

マスクを除去した後に、磁性層および非磁性層の上にトラック幅規定層を形成する工程と、

磁性層によってスロートハイト規定層を形成すると共に第1の磁極層の一部、ギャップ層、スロートハイト規定層およびトラック幅規定部の媒体対向面における幅をトラック幅に揃えるために、トラック幅規定層のトラック幅規定部の幅に合うように、磁性層、ギャップ層および第1の磁極層の一部をエッチングする工

程とを備えている。

本発明の薄膜磁気ヘッドの製造方法では、第2の磁極層のスロートハイト規定層によってスロートハイトが規定され、第1の磁極層の一部、ギャップ層、スロートハイト規定層およびトラック幅規定部の媒体対向面における幅がトラック幅に揃えられる。本発明では、マスクを用いて磁性層を選択的にエッチングすることによって、磁性層にスロートハイトを規定する端部を形成した後、マスクを残したまま、磁性層においてエッチングされた部分を埋めるように非磁性層を形成する。そして、マスクを除去した後に、磁性層および非磁性層の上に、トラック幅規定部を形成する。これにより、容易にスロートハイト規定層の厚みを正確に制御することが可能になる。

本発明の薄膜磁気ヘッドの製造方法において、スロートハイトを規定する端部を形成する工程は、更に、第1の磁極層の厚み方向の途中の位置まで、ギャップ層および第1の磁極層を選択的にエッチングしてもよい。

また、本発明の薄膜磁気ヘッドの製造方法において、スロートハイトを規定する端部を形成する工程は、更に、ギャップ層と第1の磁極層との境界の位置まで、ギャップ層を選択的にエッチングしてもよい。

また、本発明の薄膜磁気ヘッドの製造方法において、スロートハイトを規定する端部を形成する工程は、更に、ギャップ層の厚み方向の途中の位置まで、ギャップ層を選択的にエッチングしてもよい。

また、本発明の薄膜磁気ヘッドの製造方法は、更に、マスクを除去する工程とトラック幅規定層を形成する工程との間において、磁性層および非磁性層の上面を研磨により平坦化する工程を備えていてもよい。この平坦化する工程における研磨量は10～50 nmの範囲内であってもよい。

また、本発明の薄膜磁気ヘッドの製造方法において、トラック幅規定層は平坦な層であってもよい。

また、本発明の薄膜磁気ヘッドの製造方法において、ギャップ層は非磁性の無機材料よりなり、磁性層、ギャップ層および第1の磁極層の一部をエッチングする工程において、磁性層は反応性イオンエッチングによってエッチングされてもよい。この場合、非磁性の無機材料は、アルミナ、シリコンカーバイド、窒化ア

ルミニウムのいずれかであってもよい。

本発明の薄膜磁気ヘッドの製造方法では、ギャップ層の上に形成されるスロートハイト規定層によってスロートハイトが規定される。本発明によれば、容易にスロートハイト規定層の厚み正確に制御することが可能になる。その結果、本発明によれば、サイドライトやサイドイレーズの発生を抑えながら、薄膜磁気ヘッドのオーバーライト特性を向上させることができ、且つ、容易に薄膜磁気ヘッドの記録特性を正確に制御することができる。

本発明のその他の目的、特徴および利益は、以下の説明を以って十分明白になるであろう。

図面の簡単な説明

図 1 A および図 1 B は、本発明の第 1 の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法における一工程を説明するための断面図である。

図 2 A および図 2 B は、図 1 A および図 1 B に続く工程を説明するための断面図である。

図 3 A および図 3 B は、図 2 A および図 2 B に続く工程を説明するための断面図である。

図 4 A および図 4 B は、図 3 A および図 3 B に続く工程を説明するための断面図である。

図 5 A および図 5 B は、図 4 A および図 4 B に続く工程を説明するための断面図である。

図 6 A および図 6 B は、図 5 A および図 5 B に続く工程を説明するための断面図である。

図 7 A および図 7 B は、図 6 A および図 6 B に続く工程を説明するための断面図である。

図 8 A および図 8 B は、図 7 A および図 7 B に続く工程を説明するための断面図である。

図 9 A および図 9 B は、図 8 A および図 8 B に続く工程を説明するための断面図である。

図10Aおよび図10Bは、図9Aおよび図9Bに続く工程を説明するための断面図である。

図11Aおよび図11Bは、図10Aおよび図10Bに続く工程を説明するための断面図である。

図12Aおよび図12Bは、図11Aおよび図11Bに続く工程を説明するための断面図である。

図13Aおよび図13Bは、図12Aおよび図12Bに続く工程を説明するための断面図である。

図14Aおよび図14Bは、図13Aおよび図13Bに続く工程を説明するための断面図である。

図15は、本発明の第1の実施の形態における薄膜磁気ヘッドにおける薄膜コイルの形状および配置を示す平面図である。

図16は、本発明の第1の実施の形態における薄膜磁気ヘッドの構成を示す斜視図である。

図17Aおよび図17Bは、本発明の第1の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法の変形例における一工程を説明するための断面図である。

図18Aおよび図18Bは、本発明の第2の実施の形態における薄膜磁気ヘッドを示す断面図である。

図19Aおよび図19Bは、本発明の第3の実施の形態における薄膜磁気ヘッドを示す断面図である。

好適な実施の形態の詳細な説明

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

[第1の実施の形態]

まず、図1Aないし図14A、図1Bないし図14B、図15および図16を参照して、本発明の第1の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法について説明する。なお、図1Aないし図14Aはエアベアリング面および基板の上面に垂直な断面を示し、図1Bないし図14Bは磁極部分のエアベアリング面に平行な断面を示している。図15は、本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドにおける薄

膜コイルの形状および配置を示す平面図である。図16は、オーバーコート層を除いた状態における本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの構成を示す斜視図である。

本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法では、まず、図1Aおよび図1Bに示した工程を行なう。この工程では、まず、例えばアルミニウムオキサイド・チタニウムカーバイド ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiC}$) よりなる基板1の上に、例えばアルミナ (Al_2O_3) よりなる絶縁層2を、約1~3 μm の厚みで堆積する。次に、絶縁層2の上に、磁性材料、例えばパーマロイよりなる再生ヘッド用の下部シールド層3を、約2~3 μm の厚みに形成する。下部シールド層3は、例えば、フォトレジスト膜をマスクにして、めっき法によって、絶縁層2の上に選択的に形成する。次に、図示しないが、全体に、例えばアルミナよりなる絶縁層を、例えば3~4 μm の厚みに形成し、例えば化学機械研磨（以下、CMPと記す。）によって、下部シールド層3が露出するまで研磨して、表面を平坦化処理する。

次に、下部シールド層3の上に、絶縁膜としての下部シールドギャップ膜4を、例えば約20~40 nmの厚みに形成する。次に、下部シールドギャップ膜4の上に、磁気的信号検出用のMR素子5を、数十nmの厚みに形成する。MR素子5は、例えば、スパッタによって形成したMR膜を選択的にエッチングすることによって形成する。また、MR素子5は、後述するエアベアリング面が形成される位置の近傍に配置される。なお、MR素子5には、AMR素子、GMR素子、あるいはTMR（トンネル磁気抵抗効果）素子等の磁気抵抗効果を示す感磁膜を用いた素子を用いることができる。次に、図示しないが、下部シールドギャップ膜4の上に、MR素子5に電氣的に接続される一対の電極層を、数十nmの厚みに形成する。次に、下部シールドギャップ膜4およびMR素子5の上に、絶縁膜としての上部シールドギャップ膜7を、例えば約20~40 nmの厚みに形成し、MR素子5をシールドギャップ膜4、7内に埋設する。シールドギャップ膜4、7に使用する絶縁材料としては、アルミナ、窒化アルミニウム、ダイヤモンドライクカーボン（DLC）等がある。また、シールドギャップ膜4、7は、スパッタ法によって形成してもよいし、化学的気相成長（以下、CVDと記す。）法によって形成してもよい。

次に、上部シールドギャップ膜7の上に、磁性材料よりなる、再生ヘッド用の上部シールド層8を、約1.0～1.5 μm の厚みで、選択的に形成する。次に、図示しないが、全体に、例えばアルミナよりなる絶縁層を、例えば2～3 μm の厚みに形成し、例えばCMPによって、上部シールド層8が露出するまで研磨して、表面を平坦化処理する。

次に、ここまでの工程で得られた積層体の上面全体の上に、例えばアルミナよりなる絶縁層9を、約0.3 μm の厚みで形成する。次に、絶縁層9の上面全体の上に、磁性材料によって、下部磁極層10の第1の層10aを、約0.5～1.0 μm の厚みで形成する。この第1の層10aは全体的に平坦な上面を有している。下部磁極層10は、第1の層10aと、後述する第2の層10b、第3の層10d、第4の層10fおよび連結層10c、10e、10gとを含む。

第1の層10aは、例えば、材料としてNiFe (Ni:80重量%, Fe:20重量%)や、高飽和磁束密度材料であるNiFe (Ni:45重量%, Fe:55重量%)、CoNiFe (Co:10重量%, Ni:20重量%, Fe:70重量%)またはFeCo (Fe:67重量%, Co:33重量%)を用いて、めっき法によって形成してもよい。あるいは、第1の層10aは、材料として高飽和磁束密度材料であるCoFeN、FeAlN、FeN、FeCo、FeZrN等を用いてスパッタ法によって形成してもよい。ここでは、一例として、第1の層10aは、スパッタ法によって、0.5～1.0 μm の厚みに形成するものとする。

次に、第1の層10aの上に、例えばアルミナよりなる絶縁膜11を、例えば0.2 μm の厚みで形成する。次に、絶縁膜11を選択的にエッチングして、第2の層10bと連結層10cを形成すべき位置において、絶縁膜11に開口部を形成する。

次に、図示しないが、第1の層10aおよび絶縁膜11を覆うように、例えばスパッタ法によって、導電性材料よりなる電極膜を、50～80nmの厚みで形成する。この電極膜は、めっきの際の電極およびシード層として機能する。次に、図示しないが、フォトリソグラフィによって、電極膜の上に、めっき法によって第1のコイル13を形成するためのフレームを形成する。

次に、電極膜を用いて電気めっきを行って、金属、例えばCu（銅）よりなる第1のコイル13を、約3.0～3.5 μ mの厚みで形成する。第1のコイル13は、絶縁膜11が配置された領域内に配置される。次に、フレームを除去した後、例えばイオンビームエッチングによって、電極膜のうち、第1のコイル13の下に存在する部分以外の部分を除去する。

次に、図示しないが、フォトリソグラフィによって、第1の層10aおよび絶縁膜11の上に、フレームめっき法によって下部磁極層10の第2の層10bおよび連結層10cを形成するためのフレームを形成する。

図2Aおよび図2Bは次の工程を示す。この工程では、電気めっきを行って、第1の層10aの上に、それぞれ磁性材料よりなる第2の層10bおよび連結層10cを、それぞれ例えば3.5～4.0 μ mの厚みで形成する。第2の層10bおよび連結層10cの材料としては、例えばNiFe、CoNiFeまたはFeCoが用いられる。ここでは、一例として、第2の層10bおよび連結層10cの材料として、飽和磁束密度が1.9～2.3T（テスラ）のCoNiFeを用いるものとする。本実施の形態では、第2の層10bおよび連結層10cをめっき法によって形成する際に、特別な電極膜を設けずに、パターニングされていない第1の層10aをめっき用の電極およびシード層として用いる。

次に、図示しないが、第1のコイル13、第2の層10bおよび連結層10cを覆うようにフォトレジスト層を形成する。次に、このフォトレジスト層をマスクとして、例えば反応性イオンエッチングまたはイオンビームエッチングによって、第1の層10aを選択的にエッチングして、第1の層10aをパターニングする。次に、フォトレジスト層を除去する。

図3Aおよび図3Bは次の工程を示す。この工程では、後述する第2のコイル19を配置すべき位置に、例えばフォトレジストよりなる絶縁層15を形成する。この絶縁層15は、少なくとも、第2の層10bと第1のコイル13との間、第1のコイル13の巻線間、および連結層10cと第1のコイル13との間に充填されるように形成される。次に、絶縁層15を覆うように、例えばアルミナよりなる絶縁層16を、4～6 μ mの厚みで形成する。

図4Aおよび図4Bは次の工程を示す。この工程では、例えばCMPによって

、第2の層10b、連結層10cおよび絶縁層15が露出し、且つ第2の層10b、連結層10c、絶縁層15および絶縁層16（図4Aおよび図4Bでは図示せず）の上面が平坦化されるように、絶縁層15および絶縁層16を研磨する。

図5Aおよび図5Bは次の工程を示す。この工程では、絶縁層15を除去した後、例えばCVD法によって、積層体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなる絶縁膜17を形成する。これにより、第2の層10bと第1のコイル13との間、第1のコイル13の巻線間、および連結層10cと第1のコイル13との間に、それぞれ絶縁膜17によって覆われた溝部が形成される。絶縁膜17の厚みは、例えば0.08～0.15 μm である。この絶縁膜17は、例えば、減圧下で180から220 $^{\circ}\text{C}$ の温度の下で、薄膜形成に用いられる材料としての H_2O 、 N_2 、 N_2O または H_2O_2 と、薄膜形成に用いられる材料としての Al （ CH_3 ）₃または AlCl_3 が交互に断続的に噴射されることにより、CVD法によって形成される膜であってもよい。この形成方法によれば、複数の薄いアルミナ膜が積層されて、緻密でステップカバレッジのよい、所望の厚みの絶縁膜17が形成される。

次に、積層体の上面全体を覆うように、スパッタ法によって、例えばCuよりなる第1の導電膜を、例えば50nmの厚みで形成する。次に、この第1の導電膜の上に、CVD法によって、例えばCuよりなる第2の導電膜を、例えば50nmの厚みで形成する。第2の導電膜は、第2の層10bと第1のコイル13との間、第1のコイル13の巻線間、および連結層10cと第1のコイル13との間の各溝部全体を埋めることを目的とせず、CVD法のステップカバレッジの良さを生かして溝部を覆うことを目的として形成される。第1および第2の導電膜を合わせて電極膜と呼ぶ。この電極膜は、めっきの際の電極およびシード層として機能する。次に、電極膜の上に、めっき法によって、金属、例えばCuよりなる導電層19pを、例えば3～4 μm の厚みで形成する。電極膜および導電層19pは、第2のコイル19を形成するために用いられる。CVD法によって形成されたCuよりなる第2の導電膜の上に、めっき法によってCuよりなる導電層19pを形成することにより、第2の層10bと第1のコイル13との間、第1のコイル13の巻線間、および連結層10cと第1のコイル13との間に確実に

第2のコイル19を形成することが可能になる。

図6Aおよび図6Bは次の工程を示す。この工程では、例えばCMPによって、第2の層10b、連結層10cおよび第1のコイル13が露出するまで、導電層19pを研磨する。これにより、第2の層10bと第1のコイル13との間、第1のコイル13の巻線間、および連結層10cと第1のコイル13との間に残った導電層19pおよび電極膜によって、第2のコイル19が形成される。上記研磨は、第2の層10b、連結層10c、第1のコイル13および第2のコイル19の厚みが例えば2.0～3.0 μm になるように行う。第2のコイル19は、少なくとも一部が第1のコイル13の巻線間に配置された巻線を有している。また、第2のコイル19は、第1のコイル13の巻線と第2のコイル19の巻線との間に絶縁膜17のみが介在するように形成される。

図15は、第1のコイル13および第2のコイル19を示している。図6Aは、図15における6A-6A線で示される断面を表わしている。なお、図15には、後に形成される接続層21、46、47、上部磁極層30およびエアベアリング面42も示している。図15に示したように、第1のコイル13における内側端部近傍の部分には接続部13aが設けられている。第1のコイル13における外側端部近傍の部分には接続部13bが設けられている。また、第2のコイル19における内側端部近傍の部分には接続部19aが設けられている。第2のコイル19における外側端部近傍の部分には接続部19bが設けられている。

なお、第1のコイル13を形成する工程または第2のコイル19を形成する工程では、図15に示したように、下部磁極層10の第1の層10aの外側に配置されるように、2つのリード層44、45を形成する。リード層44、45は、それぞれ、接続部44a、45aを有している。

接続部13aと接続部19bは、後に形成される接続層21によって接続されるようになっている。接続部44aと接続部13bは、後に形成される接続層46によって接続されるようになっている。接続部19aと接続部45aは、後に形成される接続層47によって接続されるようになっている。

図7Aおよび図7Bは次の工程を示す。この工程では、積層体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなる絶縁膜20を、0.1～0.3 μm の厚みで

形成する。次に、絶縁膜20のうち、第2の層10bに対応する部分、連結層10cに対応する部分、第1のコイル13の2つの接続部13a, 13bに対応する部分、第2のコイル19の2つの接続部19a, 19bに対応する部分、リード層44の接続部44aに対応する部分、およびリード層45の接続部45aに対応する部分を選択的にエッチングする。エッチング後の絶縁膜20は、第1のコイル13の2つの接続部13a, 13bおよび第2のコイル19の2つの接続部19a, 19bを除いて、コイル13, 19の上面を覆う。

次に、例えばフレームめっき法によって、図15に示した接続層21, 46, 47を形成する。接続層21, 46, 47は、金属、例えばCuによって形成される。また、接続層21, 46, 47の厚みは、例えば0.8~1.5 μ mである。

次に、例えばフレームめっき法によって、第2の層10bの上に第3の層10dを形成し、連結層10cの上に連結層10eを形成する。第3の層10dおよび連結層10eの材料としては、例えばNiFe、CoNiFeまたはFeCoが用いられる。ここでは、一例として、第3の層10dおよび連結層10eの材料として、飽和磁束密度が1.9~2.3TのCoNiFeを用いるものとする。また、第3の層10dおよび連結層10eの厚みは、例えば0.8~1.5 μ mである。

次に、積層体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなる絶縁膜22を、1~2 μ mの厚みで形成する。次に、例えばCMPによって、絶縁膜22を研磨する。この研磨は、第3の層10d、連結層10e、接続層21, 46, 47および絶縁膜22の上面が平坦化され、且つこれらの厚みが0.3~1.0 μ mになるように行う。

次に、図示しないが、積層体の上面全体を覆うように、スパッタ法によって、磁性材料よりなる磁性層を、0.3~0.5 μ mの厚みで形成する。磁性層の材料としては、CoFeN、FeAlN、FeN、FeCo、FeZrN等の高飽和磁束密度材料が用いられる。ここでは、一例として、磁性層の材料として、飽和磁束密度が2.4TのCoFeNを用いるものとする。

図8Aおよび図8Bは次の工程を示す。この工程では、上記磁性層の上であっ

て、第3の層10dに対応する部分および連結層10eに対応する部分に、それぞれ、エッチングマスク24a、24bを形成する。エッチングマスク24a、24bは、後に容易にリフトオフできるように、底面が上面よりも小さくなるようにアンダーカットを有している。このようなエッチングマスク24a、24bは、例えば積層された2つの有機膜からなるレジスト層をパターンニングすることによって形成される。

次に、エッチングマスク24a、24bを用い、例えばイオンビームエッチングによって、磁性層を選択的にエッチングする。エッチング後にエッチングマスク24a、24bの下に残った磁性層によって、第3の層10d、連結層10eの上に、それぞれ第4の層10f、連結層10gが形成される。このエッチングは、例えば、まず、イオンビームの進行方向が第1の層10aの上面に垂直な方向に対してなす角度が $0 \sim 20^\circ$ となるようにして行う。次に、エッチング後の磁性層23の側壁の付着物を除去するために、イオンビームの進行方向が第1の層10aの上面に垂直な方向に対してなす角度が $60 \sim 75^\circ$ となるようにしてエッチングを行なう。

次に、エッチングマスク24a、24bを残したまま、積層体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなる絶縁層25を、 $0.4 \sim 0.6 \mu\text{m}$ の厚みで形成する。絶縁層25は、上記磁性層においてエッチングされた部分を埋めるように自己整合的に形成される。次に、エッチングマスク24a、24bをリフトオフした後、例えば短時間のCMPによって、第4の層10f、連結層10gおよび絶縁層25の上面を研磨し平坦化する。この平坦化処理により、第4の層10fと絶縁層25との間および連結層10gと絶縁層25との間に生じていたわずかな段差がなくなると共に、エッチングマスク24a、24bのリフトオフ後の残渣やバリが除去される。

図9Aおよび図9Bは次の工程を示す。この工程では、積層体の上面全体を覆うように、記録ギャップ層26を、 $0.07 \sim 0.1 \mu\text{m}$ の厚みで形成する。記録ギャップ層26の材料は、アルミナ等の絶縁材料でもよいし、Ru、NiCu、Ta、W、NiB等の非磁性金属材料でもよい。次に、記録ギャップ層26のうち、連結層10gに対応する部分を選択的にエッチングする。

次に、積層体の上面全体を覆うように、例えばスパッタ法によって、磁性材料よりなる磁性層 27 を、 $0.1 \sim 0.6 \mu\text{m}$ の厚みで形成する。磁性層 27 の材料としては、 CoFeN 、 FeAlN 、 FeN 、 FeCo 、 FeZrN 等の高飽和磁束密度材料が用いられる。磁性層 27 の飽和磁束密度は高い方が好ましい。ここでは、一例として、磁性層 27 の材料として、飽和磁束密度が 2.4 T の CoFeN を用いるものとする。

次に、磁性層 27 の上にエッチングマスク 28 a, 28 b を形成する。エッチングマスク 28 a は、磁性層 27 にスロートハイトを規定する端部を形成するためのマスクであり、第 4 の層 10 f の上方に配置される。エッチングマスク 28 b は、連結層 10 g の上方に配置される。エッチングマスク 28 a, 28 b は、後に容易にリフトオフできるように、底面が上面よりも小さくなるようにアンダーカットを有している。このようなエッチングマスク 28 a, 28 b は、例えば積層された 2 つの有機膜からなるレジスト層をパターニングすることによって形成される。

図 10 A および図 10 B は次の工程を示す。この工程では、エッチングマスク 28 a, 28 b を用い、例えばイオンビームエッチングによって、磁性層 27 を選択的にエッチングする。エッチング後にエッチングマスク 28 a, 28 b の下に残った磁性層 27 によって、磁性層 30 a p と連結層 30 b とが形成される。連結層 30 b は、連結層 10 c, 10 e, 10 g と共に、連結部 43 を構成する。

磁性層 30 a p は、記録ギャップ層 26 に隣接するように配置される。磁性層 30 a p は、後にパターニングされてスロートハイト規定層 30 a となる。この時点における磁性層 30 a p の幅は、記録トラック幅よりも大きい。磁性層 30 a p は、スロートハイトを規定する端部 30 a 1 を有している。連結層 30 b は、連結層 10 g の上に配置される。このエッチングは、例えば、まず、イオンビームの進行方向が第 1 の層 10 a の上面に垂直な方向に対してなす角度が $0 \sim 20^\circ$ となるようにして行う。次に、エッチング後の磁性層 27 の側壁の付着物を除去するために、イオンビームの進行方向が第 1 の層 10 a の上面に垂直な方向に対してなす角度が $60 \sim 75^\circ$ となるようにしてエッチングを行なう。このよ

うな方法で磁性層 27 をエッチングすることにより、スロートハイトを規定する端部 30 a 1 を、第 1 の層 10 a の上面に対してほぼ垂直になるように形成することができる。これにより、スロートハイトを正確に決定することができる。

なお、磁性層 27 のエッチングは、以下の方法で行なってもよい。すなわち、まず、磁性層 27 の上に、例えばフレイムめっき法によって、マスクを形成する。次に、このマスクを用い、例えば反応性イオンエッチングによって、磁性層 27 をエッチングする。このときのエッチングガスとしては、ハロゲン系ガス、例えば Cl_2 、あるいは BCl_3 と Cl_2 の混合ガスが用いられる。磁性層 27 のエッチング時の温度は、エッチング速度を大きくするために 50°C 以上とすることが好ましい。特に、エッチング時の温度を $200 \sim 300^\circ\text{C}$ の範囲内の温度とすることにより、良好なエッチングが可能になる。また、磁性層 27 のエッチング時のエッチングガスとしては、ハロゲン系ガスと O_2 または CO_2 とを含むエッチングガスを使用することが好ましい。ハロゲン系ガスとしては、例えば、 Cl_2 と BCl_3 の少なくとも一方を含むガスを用いることができる。エッチングガスとして、 Cl_2 を含むハロゲン系ガスと O_2 との混合ガスを用いた場合には、エッチング後の磁性層 27 のプロファイルを正確に制御することが可能になる。特に、 Cl_2 および BCl_3 を含むハロゲン系ガスと O_2 との混合ガスを用いた場合には、積層体の表面に堆積するハロゲン系ガスの分子による堆積物を除去でき、積層体の表面を非常に綺麗にすることができる。

また、エッチングガスとして、 Cl_2 および CO_2 を含むものや、 Cl_2 、 BCl_3 および CO_2 を含むものや、 BCl_3 、 Cl_2 、 O_2 および CO_2 を含むものを用いた場合には、 CO_2 を含まないエッチングガスを用いた場合に比べて、磁性層 27 のエッチング速度が大きくなり、磁性層 27 とエッチングマスクとのエッチング選択比を $30 \sim 50\%$ 大きくすることができる。

磁性層 27 のエッチングの後、エッチングマスク 28 a、28 b を用い、例えばイオンビームエッチングによって、記録ギャップ層 26 を選択的にエッチングし、更に第 4 の層 10 f の厚み方向の途中の位置まで第 4 の層 10 f を選択的にエッチングする。第 4 の層 10 f におけるエッチング深さは、 $0.1 \sim 0.4 \mu\text{m}$ の範囲内であることが好ましく、 $0.1 \sim 0.3 \mu\text{m}$ の範囲内であることがよ

り好ましい。

次に、リフトオフ法によって、非磁性材料よりなる非磁性層 3 1 を形成する。すなわち、エッチングマスク 2 8 a, 2 8 b を残したまま、積層体の上面全体を覆うように、非磁性層 3 1 を、0. 2 ~ 0. 8 μm の厚みで形成する。非磁性層 3 1 は、磁性層 2 7、記録ギャップ層 2 6 および第 4 の層 1 0 f においてエッチングされた部分を埋めるように自己整合的に形成される。非磁性層 3 1 は、その上面がスロートハイト規定層 3 0 a の上面とほぼ同じ高さの位置に配置されるように形成するのが好ましい。非磁性層 3 1 の材料は、アルミナ等の絶縁材料であってもよい。

図 1 1 A および図 1 1 B は次の工程を示す。この工程では、エッチングマスク 2 8 a, 2 8 b をリフトオフした後、例えば CMP によって、磁性層 3 0 a p、連結層 3 0 b および非磁性層 3 1 の上面を研磨し平坦化する。図 1 1 A および図 1 1 B において、符号 3 2 は、研磨を停止する位置を示している。この研磨における研磨量は、例えば 1 0 ~ 5 0 nm の範囲内である。

図 1 2 A および図 1 2 B は次の工程を示す。この工程では、積層体の上面全体の上に、例えばスパッタ法によって、磁性材料よりなる磁性層 3 3 を、0. 0 5 ~ 0. 5 μm の厚みで形成する。磁性層 3 3 の材料としては、C o F e N、F e A l N、F e N、F e C o、F e Z r N 等の高飽和磁束密度材料が用いられる。

次に、磁性層 3 3 の上に、例えばフレームめっき法によって、磁性材料よりなるヨーク部分層 3 0 d を形成する。その際、磁性層 3 3 は電極およびシード層として用いられる。ヨーク部分層 3 0 d の厚みは、例えば 3 ~ 4 μm である。ヨーク部分層 3 0 d の材料としては、例えば、飽和磁束密度が 2. 3 T の C o N i F e または F e C o が用いられる。ヨーク部分層 3 0 d は、磁性層 3 0 a p に対応する位置から連結層 3 0 b に対応する位置にかけて配置される。

図 1 3 A および図 1 3 B は次の工程を示す。この工程では、ヨーク部分層 3 0 d をエッチングマスクとして、例えばイオンビームエッチングによって、磁性層 3 3、磁性層 3 0 a p および記録ギャップ層 2 6 を選択的にエッチングする。エッチング後の磁性層 3 3 は、ヨーク部分層 3 0 c となる。ヨーク部分層 3 0 c の平面形状は、ヨーク部分層 3 0 d の平面形状と同じである。エッチング後の磁性

層 30 a p は、スロートハイト規定層 30 a となる。また、上記のエッチングの後におけるヨーク部分層 30 d の厚みは、例えば $1 \sim 2 \mu\text{m}$ である。上部磁極層 30 は、スロートハイト規定層 30 a、連結層 30 b およびヨーク部分層 30 c、30 d によって構成される。

図 16 に示したように、ヨーク部分層 30 c、30 d の積層体は、エアベアリング面 42 に配置される一端部とエアベアリング面から離れた位置に配置される他端部とを有するトラック幅規定部 30 A と、このトラック幅規定部 30 A の他端部に連結されたヨーク部 30 B とを含んでいる。トラック幅規定部 30 A の幅は一定になっている。当初のトラック幅規定部 30 A の幅は、例えば $0.15 \sim 0.2 \mu\text{m}$ 程度とする。ヨーク部 30 B の幅は、トラック幅規定部 30 A との境界位置ではトラック幅規定部 30 A の幅と等しく、トラック幅規定部 30 A から離れるに従って、徐々に大きくなった後、一定の大きさになっている。

次に、図示しないが、トラック幅規定部 30 A の周辺部で開口するフォトレジストマスクを形成する。次に、上記フォトレジストマスクとトラック幅規定部 30 A とをマスクとして、例えばイオンビームエッチングによって、第 4 の層 10 f の一部をエッチングする。このエッチングは、例えば、イオンビームの進行方向が第 1 の層 10 a の上面に垂直な方向に対してなす角度が例えば $35 \sim 55^\circ$ となるようにして行われる。第 4 の層 10 f におけるエッチングの深さは、 $0.1 \sim 0.4 \mu\text{m}$ であることが好ましく、 $0.1 \sim 0.3 \mu\text{m}$ であることがより好ましい。エッチングの深さ $0.5 \mu\text{m}$ 以上の場合には、サイドライトやサイドイレースが発生しやすくなる。

このようにして、第 4 の層 10 f の一部、記録ギャップ層 26、スロートハイト規定層 30 a およびトラック幅規定部 30 A のエアベアリング面における幅が揃えられたトリム構造が形成される。このトリム構造によれば、狭トラックの書き込み時に発生する磁束の広がりによる実効的な記録トラック幅の増加を防止することができる。

次に、例えばイオンビームエッチングによって、第 4 の層 10 f の一部、記録ギャップ層 26、スロートハイト規定層 30 a およびトラック幅規定部 30 A の側壁部をエッチングして、エアベアリング面におけるこれらの幅を、例えば $0.$

1 μm になるように小さくする。このエッチングは、例えば、イオンビームの進行方向が第1の層10aの上面に垂直な方向に対してなす角度が40°～75°となるようにして行われる。

図14Aおよび図14Bは次の工程を示す。この工程では、積層体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなるオーバーコート層34を、20～30 μm の厚みで形成し、その表面を平坦化して、その上に、図示しない電極用パッドを形成する。最後に、上記各層を含むスライダの研磨加工を行ってエアベアリング面42を形成して、記録ヘッドおよび再生ヘッドを含む薄膜磁気ヘッドが完成する。

なお、本実施の形態において、図12Aおよび図12Bを参照して説明したようにフレームめっき法によってヨーク部分層30c、30dを形成する代わりに、図17Aおよび図17Bに示したように、以下の方法によってヨーク部分層を形成してもよい。図17Aはエアベアリング面および基板の上面に垂直な断面を示し、図17Bは磁極部分のエアベアリング面に平行な断面を示している。この方法では、まず、平坦化されたスロートハイト規定層30a、連結層30bおよび非磁性層31の上面を含む積層体の上面全体の上に、スパッタ法によって、磁性層よりなる磁性層を、1.0～1.5 μm の厚みで形成する。磁性層の材料としては、例えば、飽和磁束密度が2.4 TのCoFeNまたはFeCoが用いられる。次に、この磁性層の上に、例えばアルミナよりなる絶縁層を、0.3～2.0 μm の厚みで形成する。次に、この絶縁層の上に、例えばフレームめっき法によって、エッチングマスクを、例えば0.5～1.0 μm の厚みで形成する。エッチングマスクの材料としては、例えば、NiFe (Ni:45重量%, Fe:55重量%)、飽和磁束密度が1.9～2.1 TのCoNiFe (Co:約67重量%, Ni:約15重量%, Fe:約18重量%) または飽和磁束密度が2.3 TのFeCo (Fe:約60重量%, Co:約40重量%) が用いられる。このエッチングマスクの平面形状は、ヨーク部分層30dと同様である。このエッチングマスクにおいて、トラック幅を規定する部分の幅は、例えば0.1～0.2 μm である。

次に、エッチングマスクを用いて、例えば反応性イオンエッチングによって、

絶縁層を選択的にエッチングする。このときのエッチングガスとしては、ハロゲン系ガス、例えば Cl_2 、あるいは BCl_3 と Cl_2 の混合ガスが用いられる。このエッチングでは、エッチングマスクを除去してもよいし、除去しなくてもよい。なお、エッチングマスクを除去した方が、後の磁性層のエッチングを正確に行うことができる。次に、絶縁層を新たなエッチングマスク39として、例えば反応性イオンエッチングによって、磁性層を選択的にエッチングする。磁性層のエッチング時の温度は、エッチング速度を大きくするために 50°C 以上とすることが好ましい。特に、エッチング時の温度を $200\sim 300^\circ\text{C}$ の範囲内の温度とすることにより、良好なエッチングが可能になる。エッチング後の磁性層はヨーク部分層30eとなる。この例では、上部磁極層30は、スロートハイト規定層30a、連結層30bおよびヨーク部分層30eによって構成される。

また、図17Aおよび図17Bに示したように、上述のようにヨーク部分層30eとなる磁性層の上にエッチングマスク39を形成し、このエッチングマスク39を用いて、反応性イオンエッチングによって、ヨーク部分層30eとなる磁性層および磁性層30ap（図12Aおよび図12B参照）を選択的にエッチングして、ヨーク部分層30eとスロートハイト規定層30aとを形成してもよい。この場合には、記録ギャップ層26の材料としては、アルミナ、シリコンカーバイド（ SiC ）、窒化アルミニウム（ AlN ）等の非磁性の無機材料を用いることが好ましい。これにより、鉄とコバルトのうち少なくとも鉄を含む磁性材料、例えば CoFeN や FeCo よりなる磁性層を反応性イオンエッチングによってエッチングする際に、記録ギャップ層26のエッチングレートを磁性層のエッチングレートよりも小さくすることができる。その結果、エッチング後の磁性層の側壁が記録ギャップ層26の上面に対してなす角度を 90° に近づけることができ、これにより、トラック幅を正確に規定することができる。

このことを詳しく説明する。例えばアルミナよりなるエッチングマスク39を用いて、反応性イオンエッチングによって、鉄とコバルトのうち少なくとも鉄を含む磁性層をエッチングする場合を考える。この場合、エッチングガス中の Cl_2 と、磁性層中の鉄、あるいは鉄およびコバルトとによるプラズマ反応生成物が、エッチング後の磁性層の側壁に付着する。そのため、エッチング中において、

エッチングによって形成される底部が記録ギャップ層 2 6 の近傍に達するまでは、エッチング後の磁性層の形状は、エッチング後の磁性層の幅が下側ほど大きくなった形状になりやすい。しかし、エッチングによって形成される底部が記録ギャップ層 2 6 の近傍に達すると、上記プラズマ反応生成物は極端に少なくなる。エッチングによって形成される底部が記録ギャップ層 2 6 に達した後、さらにエッチングを続けると、今度は、エッチング後の磁性層の側壁のうちの底部に近い部分がエッチングされて行き、最後には、エッチング後の磁性層の形状は、エッチング後の磁性層の側壁が記録ギャップ層 2 6 の上面に対してなす角度が 90° に近い形状となる。このような形状の磁性層を形成するには、エッチング中において、エッチング後の磁性層が上記形状になるまでは、記録ギャップ層 2 6 の下の他の磁性層が露出しないことが必要である。なぜならば、エッチング中に記録ギャップ層 2 6 の下の他の磁性層が露出すると、この露出した磁性層がエッチングされることによって発生するプラズマ反応生成物が、エッチング後の磁性層の側壁に付着するからである。

ここで、記録ギャップ層 2 6 の材料として、アルミナ、シリコンカーバイド (SiC)、窒化アルミニウム (AlN) 等の非磁性の無機材料を用いると、記録ギャップ層 2 6 のエッチングレートを磁性層のエッチングレートよりも小さくすることができる。これにより、磁性層のエッチング中において、エッチング後の磁性層が上記形状になるまで、記録ギャップ層 2 6 の下の他の磁性層が露出しないようにすることができる。その結果、エッチング後の磁性層の側壁が記録ギャップ層 2 6 の上面に対してなす角度を 90° に近づけることができる。

上述のように磁性層を反応性イオンエッチングによってエッチングする際の好ましい条件は、以下のとおりである。チャンバー内の圧力 (真空度) は $0.1 \sim 1.0$ Pa であることが好ましい。エッチング時の温度は $200 \sim 300^{\circ}\text{C}$ であることが好ましい。エッチングガスは、 Cl_2 を含むものが好ましく、 Cl_2 に加え BCl_3 および CO_2 を含むものであることがより好ましい。エッチングガスにおける Cl_2 の流量は $100 \sim 300$ ccm であることが好ましい。また、エッチングガスにおける BCl_3 の流量は、 Cl_2 の流量の 50% 以下であることが好ましい。 BCl_3 の流量が Cl_2 の流量の 50% を超えると、アルミナがエ

エッチングされ易くなる。また、エッチングガスにおける CO_2 の流量は、 Cl_2 の流量の10%以下であることが好ましい。 CO_2 の流量が Cl_2 の流量の10%を超えると、記録ギャップ層26の上面に垂直な方向に対する磁性層の側壁の傾きが大きくなる。エッチング時の基板バイアスは150～500Wであることが好ましい。

また、上述のように磁性層を反応性イオンエッチングによってエッチングする際のエッチングマスク39の材料としては、記録ギャップ層26と同様に、アルミナ、シリコンカーバイド(SiC)、窒化アルミニウム(AlN)等の非磁性の無機材料を用いることが好ましい。その理由は、記録ギャップ層26と同様に、鉄とコバルトのうち少なくとも鉄を含む磁性材料、例えば CoFeN や FeCo よりなる磁性層を反応性イオンエッチングによってエッチングする際に、エッチングマスク39のエッチングレートを磁性層のエッチングレートよりも小さくすることができるからである。

上述のように磁性層を反応性イオンエッチングによってエッチングして、ヨーク部分層30eとスロートハイト規定層30aとを形成した場合には、その後、スロートハイト規定層30aをマスクとして、例えばイオンビームエッチングによって、記録ギャップ層26をエッチングする。次に、トラック幅規定部30Aの周辺部で開口する、図示しないフォトレジストマスクを形成し、このフォトレジストマスクとトラック幅規定部30Aとをマスクとして、例えばイオンビームエッチングによって、第4の層10fの一部をエッチングして、トリム構造を形成する。

また、本実施の形態において、第2のコイル19は、図3Aないし図6A、および図3Bないし図6Bを参照して説明した方法に代えて、以下の方法によって形成してもよい。この方法では、図2Aおよび図2Bに示した状態から、積層体の上面全体を覆うように絶縁膜17を形成する。次に、積層体の上面全体を覆うように電極膜を形成する。次に、電極膜の上に、例えばフレームめっき法によって、金属、例えばCuよりなる導電層19pを、例えば3～4 μm の厚みで形成する。次に、電極膜のうち、導電層19pの下に存在する部分以外の部分を、例えばイオンビームエッチングによって除去する。次に、積層体の上面全体を覆う

ように、例えばアルミナよりなる絶縁層を、 $3\sim 5\mu\text{m}$ の厚みで形成する。次に、例えばCMPによって、第2の層10b、連結層10cおよび第1のコイル13が露出するまで、絶縁層を研磨する。これにより、第2の層10bと第1のコイル13との間、第1のコイル13の巻線間、および連結層10cと第1のコイル13との間に残った導電層19pおよび電極膜によって、第2のコイル19が形成される。

本実施の形態における薄膜磁気ヘッドは、記録媒体に対向する媒体対向面としてのエアベアリング面42と、再生ヘッドと、記録ヘッド（誘導型電磁変換素子）とを備えている。

再生ヘッドは、エアベアリング面42の近傍に配置されたMR素子5と、エアベアリング面42側の一部がMR素子5を挟んで対向するように配置された、MR素子5をシールドするための下部シールド層3および上部シールド層8と、MR素子5と下部シールド層3との間に配置された下部シールドギャップ膜4と、MR素子5と上部シールド層8との間に配置された上部シールドギャップ膜7とを有している。

記録ヘッドは、エアベアリング面42側において互いに対向する磁極部分を含むと共に、互いに磁氣的に連結された下部磁極層10および上部磁極層30と、下部磁極層10の磁極部分と上部磁極層30の磁極部分との間に設けられた記録ギャップ層26と、少なくとも一部が下部磁極層10と上部磁極層30との間に、これらに対して絶縁された状態で設けられたコイル13、19とを備えている。本実施の形態における下部磁極層10、上部磁極層30は、それぞれ本発明における第1の磁極層、第2の磁極層に対応する。

下部磁極層10は、第1の層10a、第2の層10b、第3の層10d、第4の層10fおよび連結層10c、10e、10gを有している。第1の層10aは、コイル13、19に対向する位置に配置されている。第2の層10bは、エアベアリング面42の近傍において第1の層10aよりも上部磁極層30側に突出するように第1の層10aに接続されている。第3の層10dは、エアベアリング面42の近傍において第2の層10bよりも上部磁極層30側に突出するように第2の層10bに接続されている。第4の層10fは、エアベアリング面4

2の近傍において第3の層10dよりも上部磁極層30側に突出するように第3の層10dに接続されている。

上部磁極層30は、記録ギャップ層26に隣接するように配置され、スロートハイトを規定する端部30a1を含むスロートハイト規定層30aと、このスロートハイト規定層30aにおける記録ギャップ層26とは反対側に配置され、トラック幅を規定するトラック幅規定部30Aを含むヨーク部分層30c、30dと、連結層30bとを有している。エアベアリング面42におけるスロートハイト規定層30aの幅およびトラック幅規定部30Aの幅はいずれもトラック幅に等しい。エアベアリング面42に直交する方向について、トラック幅規定部30Aの長さは、スロートハイト規定層30aの長さよりも大きい。ヨーク部分層30c、30dは、平坦な層になっている。ヨーク部分層30c、30dは、本発明におけるトラック幅規定層に対応する。連結層10c、10e、10g、30bは、下部磁極層10と上部磁極層30とを磁氣的に連結する連結部43を構成する。

下部磁極層10の第4の層10fのうち、記録ギャップ層26を介して上部磁極層30のスロートハイト規定層30aと対向する部分は、下部磁極層10の磁極部分である。また、スロートハイト規定層30aは、上部磁極層30の磁極部分である。図14Aに示したように、エアベアリング面42とスロートハイト規定層30aの端部30a1との距離がスロートハイトTHとなる。また、スロートハイト規定層30aの端部30a1の位置がスロートハイトゼロ位置TH0となる。第4の層10fおよびスロートハイト規定層30aの飽和磁束密度は、2.4T以上であることが好ましい。

図15に示したように、本実施の形態における薄膜コイルは、一部が第2の層10bと連結層10cとの間に配置された巻線を有する第1のコイル13と、少なくとも一部が第1のコイル13の巻線間に配置された巻線を有する第2のコイル19と、第3の層10dの側方に配置され、コイル13、19を直列に接続する接続層21とを有している。第2のコイル19の巻線の一部も、第2の層10bと連結層10cとの間に配置されている。コイル13、19は、いずれも平面渦巻き状をなし、連結部43の回りに配置されている。また、コイル13、19

は、いずれも、例えば、外側の端部から内側の端部にかけて時計回り方向に回っている。接続層21は、コイル13の接続部13aとコイル19の接続部19bとを最短距離で結んでいる。接続層21の厚みは、コイル13、19の厚みよりも小さくなっている。コイル13、19および接続層21の材料は、いずれも金属、例えばCuである。本実施の形態では、薄膜コイルは7ターンの巻線を有している。しかし、薄膜コイルの巻線は7ターンに限られるものではない。

本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法は、下部磁極層10を形成する工程と、下部磁極層10の上に薄膜コイル（コイル13、19および接続層21）を形成する工程と、下部磁極層10の磁極部分の上に記録ギャップ層26を形成する工程とを備えている。本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法は、更に、記録ギャップ層26の上に、スロートハイト規定層30aを形成するための磁性層27を形成する工程と、磁性層27の上に、磁性層27にスロートハイトを規定する端部30a1を形成するためのエッチングマスク28aを形成する工程と、エッチングマスク28aを用いて磁性層27を選択的にエッチングすることによって、エッチング後の磁性層27よりなる磁性層30apに対して、スロートハイトを規定する端部30a1を形成する工程とを備えている。

本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法は、更に、マスク28aを残したまま、磁性層27においてエッチングされた部分を埋めるように非磁性層31を形成する工程と、この非磁性層31の形成後に、マスク28aを除去する工程と、マスク28aを除去した後に、エッチング後の磁性層27よりなる磁性層30apおよび非磁性層31の上面を研磨、例えばCMPによって平坦化する工程と、平坦化された磁性層30apおよび非磁性層31の上面の上に、トラック幅規定層としてのヨーク部分層30c、30dを形成する工程とを備えている。

本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法は、更に、ヨーク部分層30c、30dのトラック幅規定部30Aをマスクとして、このトラック幅規定部30Aの幅に合うように、磁性層30ap、記録ギャップ層26および下部磁極層10の第4の層10fの一部をエッチングする工程を備えている。この工程により、磁性層30apがパターンニングされてスロートハイト規定層30aが形成される。また、この工程により、第4の層10fの一部、記録ギャップ層26、スロ

ートハイト規定層 30 a およびトラック幅規定部 30 A のエアベアリング面 4 2 における幅がトラック幅に揃えられる。

本実施の形態では、磁性層 27 を選択的にエッチングすることによって、エッチング後の磁性層 27 よりなる磁性層 30 a p にスロートハイトを規定する端部 30 a 1 を形成する工程において、下部磁極層 10 の第 4 の層 10 f の厚み方向の途中の位置まで、記録ギャップ層 26 および第 4 の層 10 f を選択的にエッチングしている。

本実施の形態では、上部磁極層 30 のスロートハイト規定層 30 a によってスロートハイトを規定している。そのため、本実施の形態では、下部磁極層 10 には、スロートハイトを決定するための段差部を形成する必要はない。従って、本実施の形態によれば、下部磁極層 10 のうち、トリム構造を形成する両側部に挟まれた部分の体積が極端に小さくなることや、この部分と下部磁極層 10 の他の部分との境界の近傍部分において磁路の断面積が急激に減少することを防止することができる。また、本実施の形態では、非磁性層 31 によって、スロートハイトゼロ位置よりもエアベアリング面 4 2 から離れた領域における下部磁極層 10 と上部磁極層 30 の距離を大きくすることができる。これらのことから、本実施の形態によれば、オーバーライト特性を向上させることができる。

また、本実施の形態によれば、下部磁極層 10 のうち、トリム構造を形成する両側部に挟まれた部分の体積が極端に小さくなることを防止できることから、特に、エアベアリング面 4 2 に露出する下部磁極層 10 の端面のうち、トリム構造における段差部の底部の近傍部分から記録媒体側へ磁束が漏れることを防止でき、これにより、サイドライトやサイドイレーズの発生を防止することができる。

なお、エアベアリング面 4 2 において、上部磁極層 30 のスロートハイト規定層 30 a とその上のヨーク部分層 30 c, 30 d の幅は等しくなる。そのため、エアベアリング面 4 2 に露出する上部磁極層 30 の端面においては、急激な幅の変化はない。従って、エアベアリング面 4 2 に露出する上部磁極層 30 の端面からの磁束の漏れは少なく、オーバーライト特性の劣化や、サイドライトやサイドイレーズの発生を防止することができる。

また、本実施の形態では、リフトオフ法によって、磁性層 27、記録ギャップ

層 2 6 および第 4 の層 1 0 f においてエッチングされた部分を埋めるように非磁性層 3 1 を形成する。従って、わずかな研磨で、上部磁極層 3 0 の磁極部分となるスロートハイト規定層 3 0 a と非磁性層 3 1 の上面を平坦化することができる。これにより、上部磁極層 3 0 の磁極部分の厚みを精度よく決定することができる。その結果、容易に薄膜磁気ヘッドの記録特性を正確に制御することができる。なお、非磁性層 3 1 を、その上面がスロートハイト規定層 3 0 a の上面とほぼ同じ高さの位置に配置されるように形成すれば、スロートハイト規定層 3 0 a と非磁性層 3 1 の上面を研磨によって平坦化する工程を省略することも可能である。

また、本実施の形態によれば、上部磁極層 3 0 のヨーク部分層 3 0 c, 3 0 d は、ほぼ平坦な下地の上に形成された平坦な層になっている。従って、本実施の形態によれば、トラック幅規定部 3 0 A を微細に且つ精度よく形成することができる。これにより、本実施の形態によれば、トラック幅を小さくして記録密度を向上させることができる。

また、本実施の形態において、第 2 の層 1 0 b、第 3 の層 1 0 d、第 4 の層 1 0 f および上部磁極層 3 0 の材料として高飽和磁束密度材料を用いた場合には、磁路の途中での磁束の飽和を防止することができる。これには、特に、第 4 の層 1 0 f およびスロートハイト規定層 3 0 a の材料として、飽和磁束密度が 2.4 T 以上の高飽和磁束密度材料を用いることが効果的である。これにより、薄膜コイルで発生した起磁力を効率よく記録に利用することが可能となり、その結果、優れたオーバーライト特性を有する記録ヘッドを実現することができる。

また、本実施の形態によれば、全体的に平坦な上面を有する第 1 の層 1 0 a の上に第 1 のコイル 1 3 を形成するので、第 1 のコイル 1 3 を、厚く、微細に、且つ精度よく形成することができる。また、本実施の形態によれば、巻線の少なくとも一部が第 1 のコイル 1 3 の巻線間に配置されるように第 2 のコイル 1 9 を形成するので、第 2 のコイル 1 9 も、厚く、微細に、且つ精度よく形成することができる。また、本実施の形態では、第 2 の層 1 0 b と第 2 のコイル 1 9 との間、第 1 のコイル 1 3 の巻線と第 2 のコイル 1 9 の巻線との間、および連結層 1 0 c と第 2 のコイル 1 9 との間は、それぞれ、薄い絶縁膜 1 7 によって分離される。従って、これらの間隔を極めて小さくすることができる。

これらのことから、本実施の形態によれば、コイル13、19を厚くしながら、ヨーク長を短くすることができる。これにより、本実施の形態によれば、ヨーク長を短く、すなわち磁路長を短くしながら、薄膜コイルの抵抗値を小さくすることが可能になる。従って、本実施の形態によれば、磁路長が短いことによって高周波帯域における記録特性に優れ、且つ薄膜コイルの抵抗値の小さい薄膜磁気ヘッドを実現することができる。

また、本実施の形態によれば、薄膜コイルの外周部を、薄い絶縁膜17を介して第2の層10bに隣接させることができる。すなわち、本実施の形態によれば、薄膜コイルをエアベアリング面42の近くに配置することができる。これにより、本実施の形態によれば、薄膜コイルで発生した起磁力を効率よく記録に利用することが可能となり、その結果、優れたオーバーライト特性を有する記録ヘッドを実現することができる。

なお、本実施の形態において、接続層21の代わりに、コイル13、19を直列に接続するコイルを設けてもよい。これにより、ヨーク長を長くすることなく、また、薄膜コイルの抵抗値が増大することを防止しながら、薄膜コイルのターン数を増やすことができる。

[第2の実施の形態]

次に、図18Aおよび図18Bを参照して、本発明の第2の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法について説明する。図18Aおよび図18Bは、本実施の形態における薄膜磁気ヘッドの断面を表している。図18Aはエアベアリング面および基板の上面に垂直な断面を示し、図18Bは磁極部分のエアベアリング面に平行な断面を示している。

本実施の形態では、磁性層27を選択的にエッチングすることによって、エッチング後の磁性層27よりなる磁性層30apにスロートハイトを規定する端部30a1を形成する工程において、記録ギャップ層26と下部磁極層10の第4の層10fとの境界の位置まで、記録ギャップ層26を選択的にエッチングしている。また、本実施の形態では、非磁性層31は、磁性層27および記録ギャップ層26においてエッチングされた部分を埋めるように自己整合的に形成される。

本実施の形態では、上記工程において第4の層10fはエッチングされないの
で、下部磁極層10における磁束の漏れをより確実に防止することができる。こ
れにより、より確実にオーバーライト特性を大きくすることができると共に、サ
イドライトやサイドイレースの発生を防止することができる。本実施の形態にお
けるその他の構成、作用および効果は、第1の実施の形態と同様である。

〔第3の実施の形態〕

次に、図19Aおよび図19Bを参照して、本発明の第3の実施の形態に係る
薄膜磁気ヘッドの製造方法について説明する。図19Aおよび図19Bは、本実
施の形態における薄膜磁気ヘッドの断面を表している。図19Aはエアベアリン
グ面および基板の上面に垂直な断面を示し、図19Bは磁極部分のエアベアリン
グ面に平行な断面を示している。

本実施の形態では、磁性層27を選択的にエッチングすることによって、エッ
チング後の磁性層27よりなる磁性層30apにスロートハイトを規定する端部
30a1を形成する工程において、記録ギャップ層26の厚み方向の途中の位置
まで、記録ギャップ層26を選択的にエッチングしている。また、本実施の形態
では、非磁性層31は、磁性層27および記録ギャップ層26においてエッチン
グされた部分を埋めるように自己整合的に形成される。

本実施の形態では、上記工程において第4の層10fはエッチングされないの
で、下部磁極層10における磁束の漏れをより確実に防止することができる。こ
れにより、より確実にオーバーライト特性を大きくすることができると共に、サ
イドライトやサイドイレースの発生を防止することができる。

なお、上記工程において、磁性層27と記録ギャップ層26との境界の位置で
エッチングを停止させ、記録ギャップ層26をエッチングしないようにしてもよ
い。本実施の形態におけるその他の構成、作用および効果は、第1の実施の形態
と同様である。

なお、本発明は、上記各実施の形態に限定されず、種々の変更が可能である。
例えば、各実施の形態では、コイル13、19および接続層21を有する薄膜コ
イルを設けている。しかし、本発明における薄膜コイルは、これに限らず、1層
以上の平面渦巻き状のコイルよりなる一般的な薄膜コイルであってもよい。

また、実施の形態では、ヨーク部分層 30 c, 30 d がトラック幅規定部 30 A を有するようにしたが、スロートハイト規定層 30 a とヨーク部分層との間に、トラック幅規定部 30 A を有する他の磁性層を設けてもよい。この場合には、この磁性層を、トリム構造を形成するエッチングの際のマスクとする。

また、本発明は、誘導型電磁変換素子のみを有する記録専用の薄膜磁気ヘッドや、誘導型電磁変換素子によって記録と再生を行う薄膜磁気ヘッドにも適用することができる。

以上の説明に基づき、本発明の種々の態様や変形例を実施可能であることは明らかである。従って、以下の請求の範囲の均等の範囲において、上記の最良の形態以外の形態でも本発明を実施することが可能である。

クレーム

1. 記録媒体に対向する媒体対向面と、

前記媒体対向面側において互いに対向する磁極部分を含むと共に、互いに磁気的に連結された第1および第2の磁極層と、

前記第1の磁極層の磁極部分と前記第2の磁極層の磁極部分との間に設けられたギャップ層と、

少なくとも一部が前記第1および第2の磁極層の間に、前記第1および第2の磁極層に対して絶縁された状態で設けられた薄膜コイルとを備え、

前記第2の磁極層は、前記ギャップ層に隣接するように配置され、スロートハイトを規定する端部を含むスロートハイト規定層と、前記スロートハイト規定層における前記ギャップ層とは反対側に配置され、トラック幅を規定するトラック幅規定部を含むトラック幅規定層とを有し、

前記スロートハイト規定層の幅および前記トラック幅規定部の幅はいずれもトラック幅に等しい薄膜磁気ヘッドを製造する方法であって、

前記第1の磁極層を形成する工程と、

前記第1の磁極層の上に前記薄膜コイルを形成する工程と、

前記第1の磁極層の磁極部分の上に前記ギャップ層を形成する工程と、

前記ギャップ層の上に、前記スロートハイト規定層を形成するための磁性層を形成する工程と、

前記磁性層の上に、前記磁性層にスロートハイトを規定する端部を形成するためのマスクを形成する工程と、

前記マスクを用いて前記磁性層を選択的にエッチングすることによって、前記磁性層にスロートハイトを規定する端部を形成する工程と、

前記マスクを残したまま、前記磁性層においてエッチングされた部分を埋めるように非磁性層を形成する工程と、

前記非磁性層の形成後に、前記マスクを除去する工程と、

前記マスクを除去した後に、前記磁性層および非磁性層の上に前記トラック幅規定層を形成する工程と、

前記磁性層によって前記スロートハイト規定層を形成すると共に前記第1の磁

極層の一部、ギャップ層、スロートハイト規定層およびトラック幅規定部の媒体対向面における幅をトラック幅に揃えるために、前記トラック幅規定層のトラック幅規定部の幅に合うように、前記磁性層、ギャップ層および第1の磁極層の一部をエッチングする工程と
を備えたことを特徴とする薄膜磁気ヘッドの製造方法。

2. 前記スロートハイトを規定する端部を形成する工程は、更に、前記第1の磁極層の厚み方向の途中の位置まで、前記ギャップ層および第1の磁極層を選択的にエッチングすることを特徴とする請求項1記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

3. 前記スロートハイトを規定する端部を形成する工程は、更に、前記ギャップ層と第1の磁極層との境界の位置まで、前記ギャップ層を選択的にエッチングすることを特徴とする請求項1記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

4. 前記スロートハイトを規定する端部を形成する工程は、更に、前記ギャップ層の厚み方向の途中の位置まで、前記ギャップ層を選択的にエッチングすることを特徴とする請求項1記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

5. 更に、前記マスクを除去する工程と前記トラック幅規定層を形成する工程との間において、前記磁性層および非磁性層の上面を研磨により平坦化する工程を備えたことを特徴とする請求項1記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

6. 前記平坦化する工程における研磨量は10～50nmの範囲内であることを特徴とする請求項5記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

7. 前記トラック幅規定層は平坦な層であることを特徴とする請求項1記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

8. 前記ギャップ層は非磁性の無機材料よりなり、

前記磁性層、ギャップ層および第1の磁極層の一部をエッチングする工程において、前記磁性層は反応性イオンエッチングによってエッチングされることを特徴とする請求項1記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

9. 前記非磁性の無機材料は、アルミナ、シリコンカーバイド、窒化アルミニウムのいずれかであることを特徴とする請求項8記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

要約

薄膜磁気ヘッドの上部磁極層は、スロートハイト規定層とヨーク部分層とを有している。スロートハイト規定層は、以下のようにして形成される。まず、記録ギャップ層の上に、トラック幅規定部となる磁性層を形成する。次に、マスクを用いて磁性層を選択的にエッチングすることによって、磁性層に対して、スロートハイトを規定する端部を形成する。次に、マスクを残したまま、磁性層においてエッチングされた部分を埋めるように非磁性層を形成する。次に、ヨーク部分層を形成する。次に、トラック幅規定部をマスクとして、磁性層、記録ギャップ層および下部磁極層の一部をエッチングする。